

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

VLIV ŠÍŘKY PŘELIVU PRAVOÚHLÉHO PRŮŘEZU SE ŠIROKOU KORUNOU NA HODNOTU SOUČinitele PRŮTOKU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

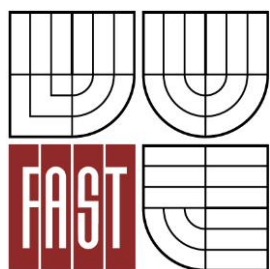
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ KAŠPAR

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

VLIV ŠÍŘKY PŘELIVU PRAVOÚHLÉHO PRŮŘEZU SE ŠIROKOU KORUNOU NA HODNOTU SOUČiniteLE PRŮTOKU

INFLUENCE OF THE WEIR WIDTH ON A DISCHARGE COEFFICIENT OF THE BROAD CRESTED WEIR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ KAŠPAR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ZBYNĚK ZACHOVAL, Ph.D.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Tomáš Kašpar
Název	Vliv šířky přelivu pravoúhlého průřezu se širokou korunou na hodnotu součinitele průtoku
Vedoucí bakalářské práce	doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2014
Datum odevzdání bakalářské práce	29. 5. 2015
V Brně dne 30. 11. 2014	

.....
prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

BOS, M. G. Discharge measurement structures. Third revised edition. Netherlands: ILRI, 1989.

ČSN ISO 3846. Měření průtoku v otevřených korytech pomocí měrných přelivů a žlabů. Měrné přelivy pravoúhlého průřezu se širokou korunou. Praha: Český normalizační institut, 2012.

ZACHOVAL, Z., ŠULC, J. Rovnice stanovující průtok přes pravoúhlý obdélníkový přeliv se širokou korunou. Sympozium hydrotechnikou. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2011.

Zásady pro vypracování

Pojednání o přelivech se širokou korunou.

Souhrn poznatků o vlivu šířky přelivu na součinitel průtoku.

Popis experimentu.

Měření a zpracování dat.

Porovnání výsledků vlastních měření s výsledky jiných autorů.

Závěr a zhodnocení.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....
doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce pojednává o vlivu šířky přelivu se širokou korunou na součinitel průtoku. Na základě měření úrovně hladiny před přelivem při různých průtokových stavech a šířce koruny přelivu, byly stanoveny součinitele průtoku v závislosti na relativní šířce přelivu. Tyto hodnoty byly porovnány s výsledky měření uvedenými v odborné literatuře.

KLÍČOVÁ SLOVA

Přeliv se širokou korunou, součinitel průtoku, relativní šířka přelivu, relativní tloušťka přelivu, přepadová výška

ABSTRACT

This bachelor's thesis focuses on the influence of the weir width on a discharge coefficient of the broad-crested weir. The relation between discharge coefficients and the relative width of the weir was defined, on the basis of measuring the level of the water surface in front of the weir, given various discharges and various width of the weir. These data were compared to the measurement results found in the professional literature.

KEYWORDS

Broad-crested weir, discharge coefficient, relative weir width, relative weir thickness, overflow head

KAŠPAR, Tomáš *Vliv šířky přelivu pravoúhlého průřezu se širokou korunou na hodnotu součinitele průtoku*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb, 2015. 45 s. Vedoucí práce byl doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Vliv šířky přelivu pravoúhlého průřezu se širokou korunou na hodnotu součinitele průtoku“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané typ práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

Brno

.....
(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Zbyňku Zachovalovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Poděkování patří také mé rodině za podporu během celého studia.

Brno

.....

(podpis autora)

OBSAH

1	Úvod	9
2	Cíl práce a metoda řešení	10
3	Přelivy	11
3.1	Přelivy pravoúhlého průřezu	11
3.1.1	Podmínky pro instalaci	12
3.1.2	Měření hladiny	14
3.2	Přeliv se širokou korunou	15
4	Přepad přes přeliv se širokou korunou	16
4.1	Přepad dokonalý a nedokonalý	17
4.2	Odvození rovnice průtoku na základě Bernoulliho rovnice	18
4.2.1	Rovnice průtoku odvozená z Bernoulliho rovnice pro proudění ideální kapaliny	18
4.3	Součinitel vlivu šířky přelivu a rychlosti	21
4.3.1	Rychlostní součinitel	21
4.3.2	Součinitel vlivu šířky přelivu	21
5	Současný stav výzkumu	23
5.1	United States Geological Survey	23
5.2	Doeringsfeld a Barker	24
5.3	Crabbe	24
5.4	Hager a Schwalt	25
5.5	Shrnutí předešlých měření	25
6	Experimentální výzkum	26
6.1	Měření	29
6.2	Zpracování měření	30
6.3	Vyhodnocení	36
7	Závěr	40
	Literatura	41
8	Seznam veličin	42

1 ÚVOD

Přelivy se širokou korunou se používají v celé řadě vodohospodářských konstrukcí. Umístění ve vodním toku zároveň určuje jejich funkci.

Na vodních tocích se používají ve formě hrázových přelivů, přehrážek a spádových stupňů. V odběrných objektech slouží jako vtokové prahy. U pevných jezů plní funkci přelivů, případně jako spodní konstrukce pohyblivých jezových konstrukcí. Na přehradách, suchých nádržích a rybnících jsou použity jako bezpečnostní nebo pojistné přelivy. Jejich použití má význam i v oblasti průmyslu, sportu a rekreace. Jsou využívány i v oblasti odvádění a čištění odpadních vod u separátorů, usazovacích nádrží a odlehčovacích komor v podobě bočních případně čelních přelivů a u retenčních nádrží ve formě bezpečnostních přelivů. V neposlední řadě mají značný vliv na vodní dopravu, kde jsou využívány k tvorbě vodních kanálů k dosažení potřebné plavební hloubky.

K velké rozšířenosti přelivů se širokou korunou přispěly ve značné míře jejich vlastnosti, jako jsou: jednoduchá a robustní konstrukce, která je odolná proti plovoucím a vznášejícím se předmětům [5], konstatní hodnota součinitele průtoku v případě vysokých přelivů a velká hodnota mezní míry zatopení přelivu. Tento typ přelivů má v určitých podmínkách výhodné vlastnosti a v jiných zase nevýhodné. Z toho důvodu je nutné znát, jak se přelivy chovají v konkrétních podmínkách a co způsobují. Průtočnost přelivů se širokou korunou se určuje experimentálním měřením nebo výpočtem. Pro správný výpočet průtoku je třeba znát parametry přelivu a hodnotu součinitele průtoku.

Hodnota součinitele průtoku u pravoúhlých přelivů se širokou korunou je uvedena v normě ČSN ISO 3846 [3], případně lze k výpočtu využít grafy a vztahy v odborné literatuře. Hodnoty uvedené v odborné literatuře byly však naměřeny a zaznamenány pouze pro šířku přelivu větší než 0,25 m.

2 CÍL PRÁCE A METODA ŘEŠENÍ

Cílem práce je ověřit, jak velký vliv má šířka přelivu pravoúhlého průřezu se širokou korunou na hodnotu součinitele průtoku.

K výpočtu průtoku je možné použít rovnice odvozené různými autory na základě rozdílných přístupů. Součinitel průtoku se pro každou z metod liší, proto je nutné dodržet jejich příslušnost k dané rovnici. S postupem rozvoje výpočetní techniky je možné určit měrné křivky přelivu výpočtem pomocí numerického modelu. Ty nejsou vzhledem k obtížnosti numerického modelování proudění se zónami odtržení, které mohou na široké koruně vznikat, používány. Z tohoto důvodu jsou upřednostňovány klasické výpočetní metody u nichž je znalost součinitele průtoku zásadní.

V praktické části bylo provedeno měření přepadové výšky h při měnícím se průtoku a šířce přelivu s hodnotami 0,50; 0,20; 0,10 a 0,05 m u pravoúhlého přelivu se širokou korunou a ostrou návodní i povodní hranou.

Na základě těchto hodnot byl stanoven vztah součinitele průtoku na šířce přelivu a takto stanovené hodnoty byly porovnány s uvedenými hodnotami v odborné literatuře.

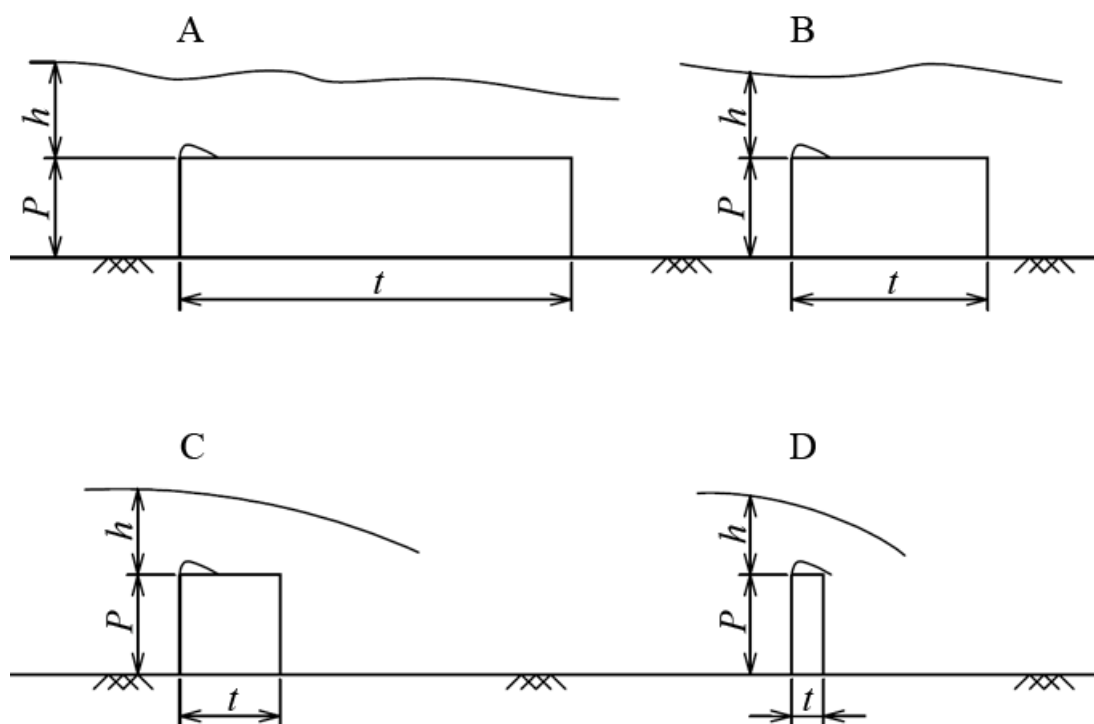
3 PŘELIVY

3.1 Přelivy pravoúhlého průřezu

Norma ČSN ISO 3648 [3] vyžaduje, aby přelivy pravoúhlého průřezu s ostrou návodní a povodní hranou splňovaly tyto vlastnosti:

- koruna, je vodorovná, rovinná s hladkým povrchem, návodní a povodní stěna je hladká, svislá a kolmá ke dnu i stěnám koryta, rovina návodní a povodní stěny se protíná s rovinou koruny pod pravým úhlem a průsečnice těchto rovin tvoří ostrou hranu[3],
- k eliminaci účinku povrchového napětí a viskozity musí být šířka přelivu tožná s šířkou koryta, výška přelivu musí být $P \geq 0,15$ m a minimální přepadová výška $h_{min} = 0,06$ m[3].

Na základě charakteru proudění na koruně Obr.3.1 a poměru h/t , kde h je přepadová výška a t tloušťka přelivu, se pravoúhlé přelivy dělí do 4 základních skupin uvedených v Tab.3.1[7].



Obr. 3.1: Charakter proudění na koruně pravoúhlých přelivů

Označení	Relativní tloušťka	Klasifikace přelivu	Charakter proudění
A	$0 \leq h/t \leq 0,1$	Přeliv s dlouhou korunou.	Proudění na přelivu je podtlakové, vznikají příčné vlny a vlnovitý vodní skok.
B	$0,1 < h/t \leq 0,4$	Přeliv se širokou korunou.	Proudění v určitém úseku je rovnoběžné s korunou přelivu.
C	$0,4 < h/t \leq 1,5$	Přeliv s krátkou korunou.	Hladina nad korunou přelivu je zakřivena.
D	$h/t > 1,5$	Přeliv s ostrou hranou.	Přepadový paprsek volně přepadá přes přeliv, hladina nad korunou je zcela zakřivena.

Tab. 3.1: Rozdělení pravoúhlých přelivů podle poměru h/t

3.1.1 Podmínky pro instalaci

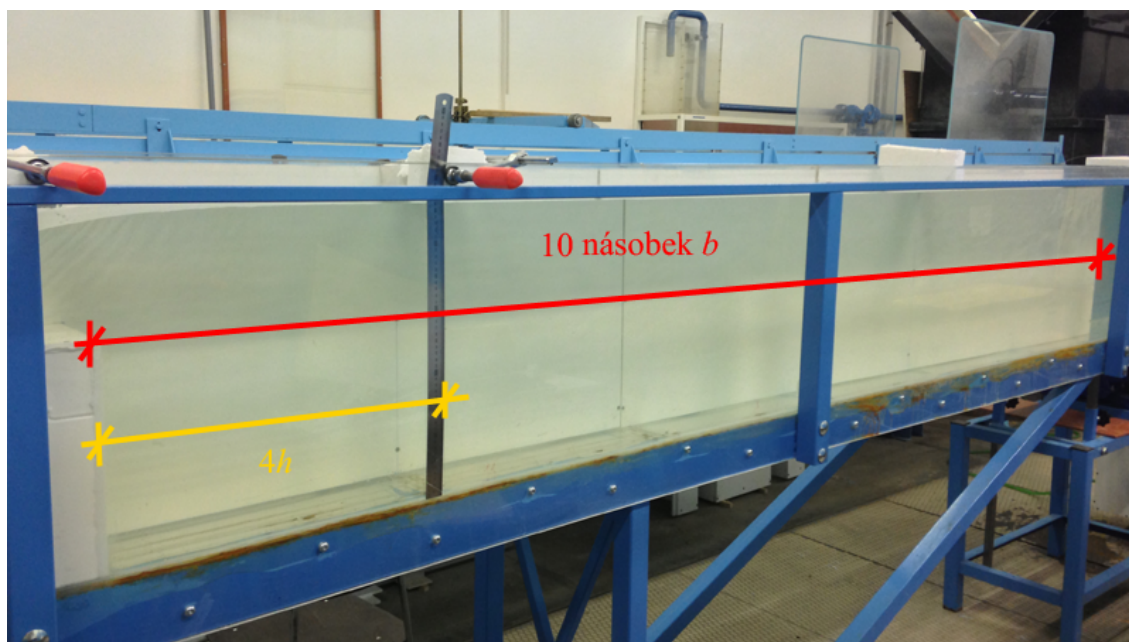
Přesnost stanovení výsledků závisí nejen na samotné konstrukci přelivu popsané výše, ale i na jeho vhodné instalaci v přítokovém a odtokovém korytě. Před zahájením prací by měl být proveden předběžný průzkum geometrických a hydraulických vlastností navrhovaného místa. Tento průzkum prokáže, jestli místo splňuje nezbytné požadavky na měření průtoku.

Při volbě místa by se měl klást důraz na splnění těchto obecných parametrů:

- dostatečná délka koryta s pravidelným příčným průřezem,
- absence strmého podélného sklonu koryta,
- účinky vzduší hladiny horní vody způsobené měrným přelivem.

Přítokové koryto musí splňovat:

- v případě umělého koryta musí být jeho příčný průřez konstatní a koryto musí být přímé v délce rovné nejméně 10 násobku šířky v hladině,
- v přítokovém korytě nesmí být žádné překážky před místem měření ve vzdálenosti menší než je 10 násobek maximální přepadové výšky, která bude měřena.



Obr. 3.2: Vyobrazení žlabu přímého v 10 násobku šířky v hladině a měřicí zařízení umístěné ve vzdálenosti $4h$

Měřicí objekt:

- musí být pevný, vodotěsný a musí odolávat velkým vodám bez toho, aby došlo k jeho deformaci nebo porušení a jeho rozměry musí odpovídat podmínkám stanoveným v normě [3].

Úsek za měřicím objektem:

- přepadový paprsek nesmí být zavzdušněný.

Další podmínky pro koryto po proudu zpravidla nemají význam za předpokladu, že je měrný přeliv navržený tak, aby byl za všech provozních podmínek zachován dokonalý přepad. V případě, že zvolené místo tyto požadavky nesplní a není možné provést nutné úpravy, místo nesmí být pro měření použito[3].

Na Obr.3.2 je zachycen měřicí žlab, na kterém jsou vyznačené vzdálenosti stanovené v podmínkách měření pro správné provedení experimentu.

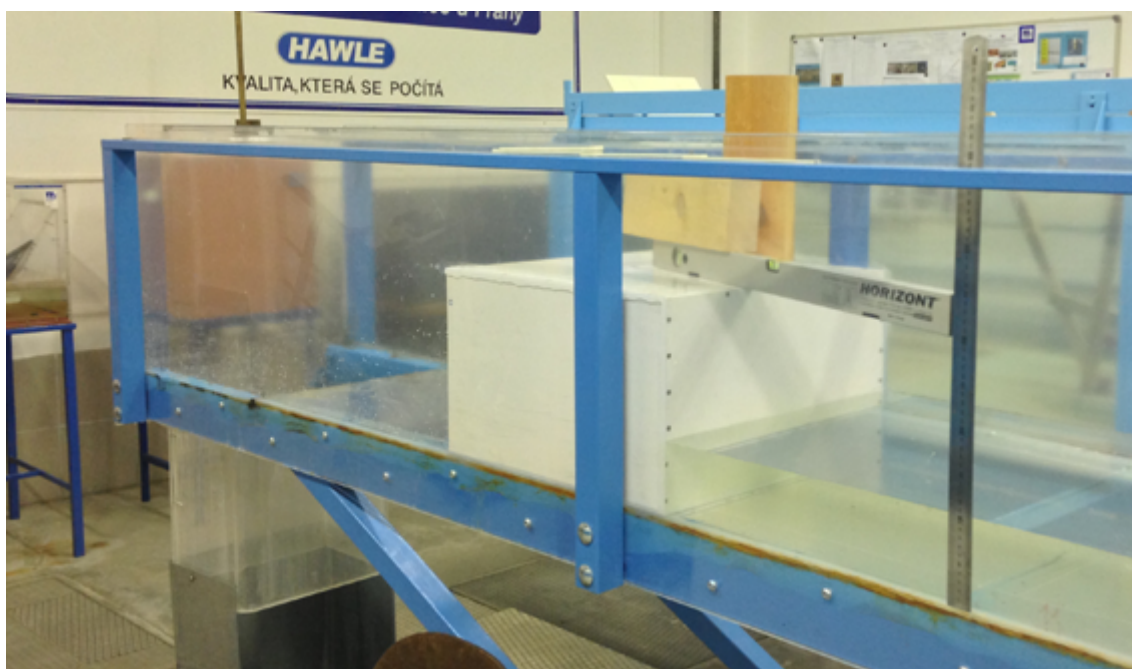
3.1.2 Měření hladiny

Hladina smí být měřena nad přelivem pomocí přímého nebo zahnutého hrotového měřidla nebo pomocí vodoměrné latě. V případě spojitého měření je možné použít limnigraf.

Nastavení nuly:

- pro kontrolu nastavení nuly na měřicím zařízení je nutné určit referenční rovinu vztaženou k úrovni koruny přelivu,
- kontrola nastavení nulové hodnoty založená na stanovení hladiny vody při poklesu průtoku je zatížena chybami v důsledku vlivu povrchového napětí, proto nesmí být používána,
- pokud se rozměry přelivu a přepadové výšky zmenšují, mají malé chyby v konstrukci, nastavení nuly a odečtu hladiny větší význam.

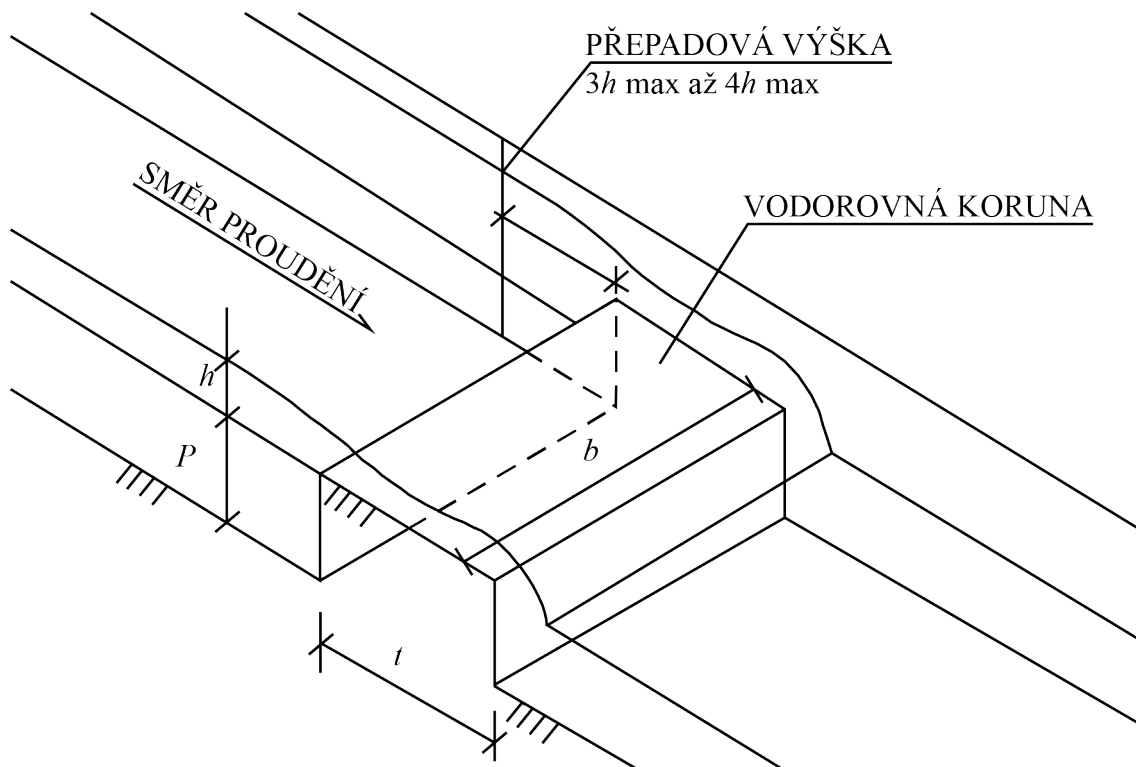
Na Obr.3.3 je vidět provádění kontroly nastavení nulové hodnoty.



Obr. 3.3: Kontrola nastavení nuly na měřicím zařízení vztažená ke koruně přelivu

3.2 Přeliv se širokou korunou

Přeliv se širokou korunou má vodorovnou korunu, která vystupuje nad dno toku. Tloušťka koruny t musí být taková, že proud přilne k vodorovné koruně a proudí s ní přibližně rovnoběžně viz. Obr.3.4. Podle experimentálního výzkumu nastane přibližně při $0,1 \leq h/t \leq 0,4$ [7].



Obr. 3.4: Přeliv pravoúhlého průřezu se širokou korunou

Hlavní výhoda přelivu pravoúhlého průřezu se širokou korunou a s ostrou návodní i povodní hranou je: velký rozsah měřitelných průtoků s použitím jednoduché konstrukce, která není spojena s vysokými nároky na technické provedení a robustnost konstrukce je odolná vůči drobným poškozením[5].

Nevýhodou je nízká průtočnost, která má vliv na vytvoření velké ztráty a odtržení proudu za návodní hranou koruny, jenž může snížit životnost přelivu[8].

4 PŘEPAD PŘES PŘELIV SE ŠIROKOU KORUNOU

Přepad lze definovat jako výtok kapaliny otvorem nahoře otevřeným nebo otvorem v němž hladina nedosahuje k jeho hornímu okraji. Vznikne zpravidla vložním stěny napříč proudem s volnou hladinou. Stěna způsobuje vzdouvání vody a následně přes ni voda přepadá.

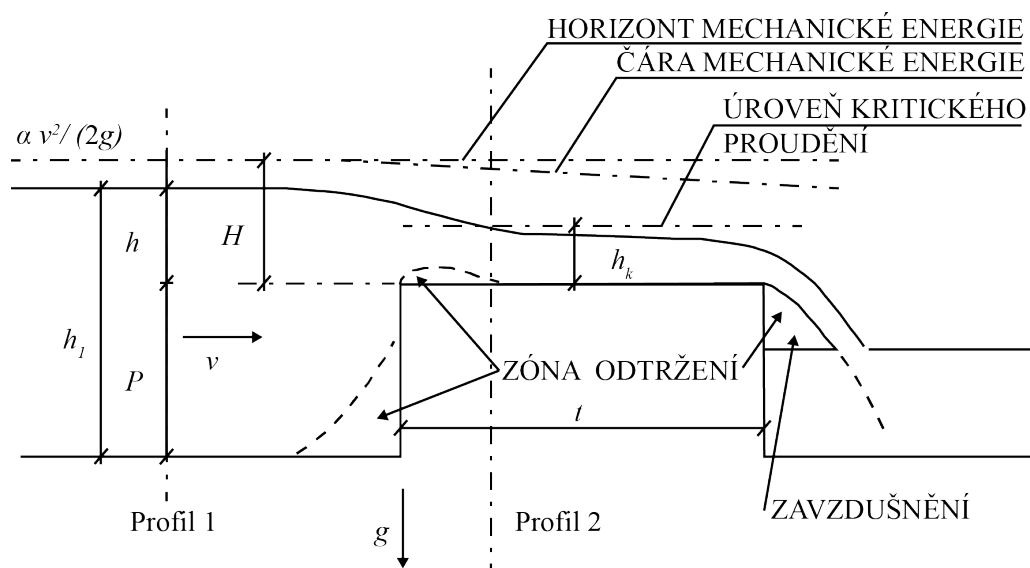
Nejvyšší část přelivu je přelivná hrana nebo jinak řečená koruna přelivu. Tvar a tloušťka přelivné stěny má podstatný vliv na přepad.

Stanovení průtoku Q přes pravoúhlý přeliv se širokou korunou je možné na základě znalosti energetické přepadové výšky H (alternativně přepadové výšky h) a šířky přelivu b za působení tíhového zrychlení g . Na základě těchto veličin jsou odvozeny tři základní přístupy[10]:

- odvození z Bernoulliho rovnice,
- odvození z rovnice hybnosti,
- odvození rozměrovou analýzou.

Každým přístupem vznikne odlišná rovnice s příslušnými součiniteli průtoku. Odvození rovnic se obvykle provádí pro vysoký přeliv s výškou P , kde hodnota součinitele průtoku C_d nezávisí na poměru h/P .

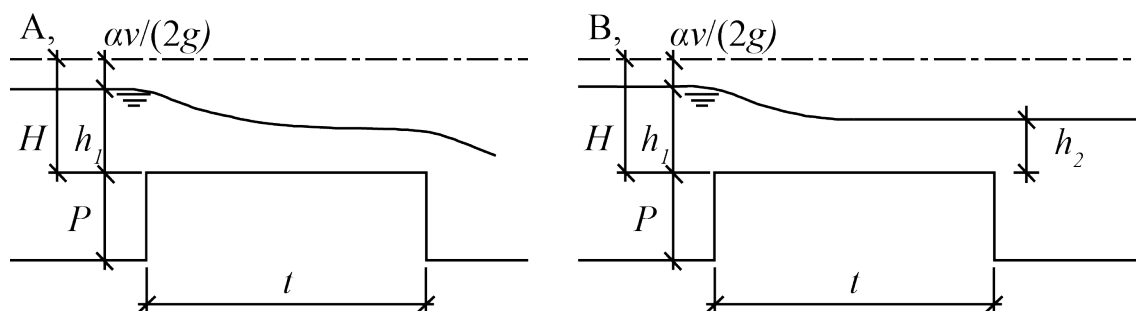
Součinitel průtoku pak zohledňuje ztráty vzniklé při proudění od Profilu 1 do Profilu 2 Obr.4.1.



Obr. 4.1: Schéma přepadu přes pravoúhlý přeliv se širokou korunou [10]

4.1 Přepad dokonalý a nedokonalý

Při dokonalém přepadu není průtok ovlivněn hladinou poproudě za přelivem. Nedokonalý přepad se nazývá také zatopený. Dochází k němu v případě, že je výška zatopení h_2 větší, než druhá vzájemná hloubka vodního skoku na koruně přelivu viz. Obr.4.2.



Obr. 4.2: A, dokonalý přepad přes širokou korunu, B, nedokonalý přepad přes širokou korunu

4.2 Odvození rovnice průtoku na základě Bernoulliho rovnice

Určení rovnice přepadu z Bernoulliho rovnice lze provést dvěma základními způsoby. První vychází z proudění ideální kapaliny a druhý z proudění reálné kapaliny. V obou případech se předpokládá přeměna mechanické energie v Profilu 1 (obr.4.1) na energii polohovou a kinetickou v Profilu 2 [10].

Vzhledem k tématu práce je v textu níže uvedeno pouze odvození vycházející z proudění ideální kapaliny.

4.2.1 Rovnice průtoku odvozená z Bernoulliho rovnice pro proudění ideální kapaliny

V obecném průřezu otevřeného koryta 4.3 se předpokládá přibližně stejná bodová rychlost u ve všech bodech průřezu, která je rovná průřezové rychlosti v . Pro proudnici procházející libovolně zvoleným bodem C, který se nachází nad srovnávací rovinou procházející nejnižším bodem dna v průřezu, je možné napsat Bernoulliho rovnici v tomto tvaru

$$y_C + \frac{p_C}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = \text{konst}, \quad (4.1)$$

kde p_C je tlak v příslušném bodě, ρ je hustota kapaliny, g vyjadřuje tíhové zrychlení a y_C je souřadnice bodu C. Nejsou-li proudnice zakřiveny, tedy se předpokládá, že je tlak v bodě C určen tlakovou výškou

$$\frac{p_C}{\rho g} = h_1 - y_C. \quad (4.2)$$

Dosazením 4.2 do Bernoulliho rovnice 4.1 se obdrží

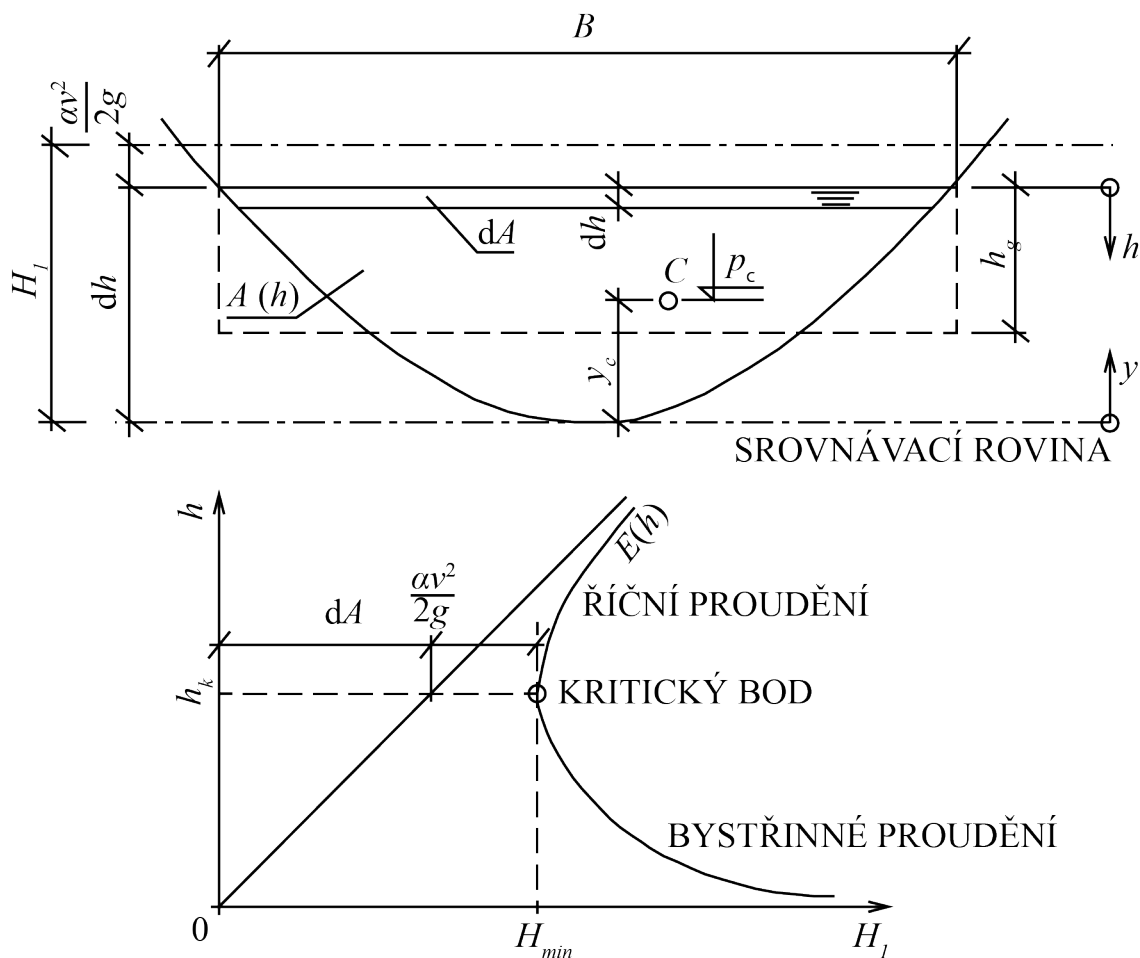
$$y_C + h_1 - y_C + \frac{v^2}{2g} = \text{konst} = H_1. \quad (4.3)$$

Aplikací rovnice spojitosti 4.4 se získá rovnice 4.5.

$$Q = v_1 S_1 = \text{konst} \quad (4.4)$$

$$H_1 = h_1 + \frac{v^2}{2g} = h_1 + \frac{Q_i^2}{2gA^2}, \quad (4.5)$$

kde H_1 je energetická výška průřezu, Q je průtok vody a A je průtočný průřez [7].



Obr. 4.3: Energetická výška průřezu [7]

Kritické proudění ideální kapaliny je určeno z podmínky minima energie průtočného průřezu [1] dle [8] rovnici 4.5

$$\frac{dH_1}{dh} = 0 = 1 - \frac{Q_i^2}{gA_c^3} \frac{dA}{dh} = 1 - \frac{v_{ic}^2}{gA_c} \frac{dA}{dh}. \quad (4.6)$$

Platí-li pro obdelníkový průtočný průřez o ploše A

$$\frac{dA}{dh} = b \quad (4.7)$$

z rovnice 4.6 se odvodí vztah pro kritické proudění. V případě vložení srovnávací roviny do úrovně přelivu platí

$$\frac{v_{ic}^2}{g} = \frac{A_c}{b} = h_k \quad (4.8)$$

a pro kritickou rychlosti

$$v_{ik} = \left(\frac{gA_k}{b} \right)^{1/2} = (gh_k)^{1/2}. \quad (4.9)$$

Prouděním ideální kapaliny na přelivu se mechanická energie transformuje na energii polohovou a kinetickou při kritickém proudění [10]

$$H = h_c + \frac{v_{ic}^2}{2g} = H_k = h_k + \frac{A_c}{2b} = h_k + \frac{bh_k}{2b} = \frac{2}{3}h_k, \quad (4.10)$$

pro kritickou hloubku pak platí

$$h_k = \frac{2}{3}H. \quad (4.11)$$

Určení průtoku ideální kapaliny přes přeliv se provádí z rovnice spojitosti pro kritické proudění [10]

$$Q_i = A_c v_{ik} = bh_k (gh_k)^{1/2} = bg^{1/2} h_k^{3/2} = bg^{1/2} \left(\frac{2}{3}H \right)^{3/2} = \left(\frac{2}{3} \right)^{3/2} bg^{1/2} H^{3/2}. \quad (4.12)$$

Součinitel průtoku C_d je dán poměrem průtoku skutečné kapaliny Q a ideální kapaliny Q_i [10]

$$C_d = \frac{Q}{Q_i}. \quad (4.13)$$

Při proudění ideální kapaliny má součinitel hodnotu $C_d = 1$, a při proudění reálné kapaliny je součinitel $C_d < 1$.

Rovnice průtoku má potom tvar

$$Q = C_d \left(\frac{2}{3} \right)^{3/2} g^{1/2} b H^{3/2}. \quad (4.14)$$

4.3 Součinitel vlivu šířky přelivu a rychlosti

Energetická přepadová výška H nemůže být měřená přímo, z toho důvodu se rovnice 4.14 vyjadřuje pomocí měřené přepadové výšky h

$$Q = C \left(\frac{2}{3} \right)^{3/2} g^{1/2} b h^{3/2}, \quad (4.15)$$

kde C je součinitel průtoku vztažený k přepadové výšce. Vyjadřuje se jako součin součinitele průtoku C_d a rychlostního součinitele C_v , který vyjadřuje vliv přítokové rychlosti

$$C = C_d C_v. \quad (4.16)$$

4.3.1 Rychlostní součinitel

Rychlostní součinitel C_v je bezrozměrný součinitel vyjadřující vliv přítokové rychlosti. Pro obdélníkový profil platí

$$C_v = \left(\frac{H}{h} \right)^{3/2}. \quad (4.17)$$

4.3.2 Součinitel vlivu šířky přelivu

Součinitel vlivu šířky přelivu lze určit experimentálně nebo výpočtem pomocí následující rovnice

$$C_d = C_b C_{d0}, \quad (4.18)$$

kde C_{d0} je základní součinitel průtoku, který má pro vysoké přelivy hodnotu $C_{d0} = 0,85$ [3]. Součinitel vlivu šířky přelivu a je závislý na relativní šířce přelivu b a Reynoldsově kritériu, které určuje tloušťku mezní vrstvy.

5 SOUČASNÝ STAV VÝZKUMU

Experimentálním výzkumem přepadu přes širokou korunu se zabývali autoři uvedení v následujících podkapitolách, jejich data slouží k porovnání výsledků s vlastním měřením. Jednotlivé experimenty byly provedeny za rozdílných podmínek.

5.1 United States Geological Survey

Měření United States Geological Survey zveřejnil Rafter a bylo vydáno Hortonem v roce 1907 . Jednalo se o experimentální výzkum, který rozšiřoval a ověřoval měření provedená Bazinem.

m	t	P	b	Q	h	h/t	h/P	C	H	C_d	h/b
	[m]	[m]	[m]	[l/s]	[m]	-	-	-	[m]	-	-
1	3,730	3,429	4,867	6274	0,924	0,248	0,270	0,851	0,929	0,845	0,190
2	3,730	3,429	4,867	4920	0,786	0,211	0,229	0,850	0,789	0,846	0,162
3	3,730	3,429	4,867	7476	1,032	0,277	0,301	0,859	1,038	0,851	0,212
4	4,969	3,429	4,867	11310	1,351	0,272	0,394	0,868	1,363	0,857	0,278
5	4,969	3,429	4,867	8435	1,116	0,225	0,325	0,862	1,123	0,854	0,229
6	4,969	3,429	4,867	5968	0,895	0,180	0,261	0,850	0,899	0,844	0,184
7	4,969	3,429	4,867	4344	0,719	0,145	0,210	0,858	0,722	0,854	0,148
8	2,737	3,429	4,867	4208	0,707	0,258	0,206	0,853	0,709	0,849	0,145

Tab. 5.1: Vybraná data z měření United States Geological Survey [6]

5.2 Doeringsfeld a Barker

Doeringsfeld a Barker provedli experiment v roce 1941 na dvou přelivech s rozměry výšky $P = 0,144$ m a $0,162$ m, délky $t = 0,503$ m a $0,686$ m, šířky $b = 0,254$ m a $0,512$ m. Konstrukce byly umístěny ve skleněném žlabu o rozměrech výška, šířka a délka žlabu: $0,512$ m, $0,8$ m, $12,2$ m.

m	t	P	b	Q	h	h/t	h/P	C	H	C_d	h/b
	[m]	[m]	[m]	[l/s]	[m]	-	-	-	[m]	-	-
1	0,503	0,144	0,254	230	0,066	0,132	0,461	0,884	-	0,869	0,261
2	0,503	0,144	0,254	253	0,072	0,142	0,499	0,863	-	0,848	0,282
3	0,686	0,162	0,512	500	0,070	0,102	0,434	0,874	-	0,860	0,137

Tab. 5.2: Vybraná data z měření Doeringsfeld a Barker [4]

5.3 Crabbe

Výstupem experimentu Crabbeho byly v roce 1974 grafy zobrazující poměry h/P a h/t s měnící se přepadovou výškou h a délkou přelivu t . Výška i šířka přelivu byla ve všech měřeních stejná: $P = 0,15$ m, $b = 0,30$ m.

m	t	P	b	Q	h	h/t	h/P	C	H	C_d	h/b
	[m]	[m]	[m]	[l/s]	[m]	-	-	-	[m]	-	-
1	0,600	0,150	0,300	-	-	0,109	0,440	-	-	0,854	0,220
2	0,402	0,150	0,300	-	-	0,173	0,470	-	-	0,854	0,235
3	0,252	0,150	0,300	-	-	0,275	0,470	-	-	0,855	0,235

Tab. 5.3: Vybraná data z měření Crabbe [2]

5.4 Hager a Swalt

Hager a Swalt prováděli experiment na přelivu umístěném ve žlabu o šířce 0,499 m a výšce 0,7 m s celkovou délkou 7 m. Povrch žlabu byl z černého PVC. Přeliv měl pro všechna měření konstatní výšku $P = 0,4$ m. Experiment byl prováděn s přepadovou výškou $h > 0,05$ m. Výsledky byly zveřejněny v roce 1994.

m	t	P	b	Q	h	h/t	h/P	C	H	C_d	h/b
	[m]	[m]	[m]	[l/s]	[m]	-	-	-	[m]	-	-
1	0,500	0,401	0,499	18	0,084	0,168	0,210	0,858	0,084	0,854	0,169
2	0,500	0,401	0,499	26	0,108	0,216	0,269	0,862	0,108	0,855	0,216
3	0,500	0,401	0,499	38	0,138	0,276	0,345	0,860	0,139	0,851	0,277

Tab. 5.4: Vybraná data z měření Hager a Swalt [5]

5.5 Shrnutí předešlých měření

Experimentální výzkum předešlých autorů byl proveden na přelivech velkých rozměrů $0,25 \text{ m} < b < 4,9 \text{ m}$. Rozsah relativní šířky přelivu h/b je v rozmezí hodnot poměru $0,15 \leq h/b \leq 0,28$. Proto bylo vlastní měření provedeno za účelem prozkoumání a rozšíření oblasti hodnot pro menší rozměry přelivu $0,05 \text{ m} \leq b \leq 0,5 \text{ m}$, a za hodnot relativní šířky přelivu $0,15 \leq h/b \leq 3,1$.

6 EXPERIMENTÁLNÍ VÝZKUM

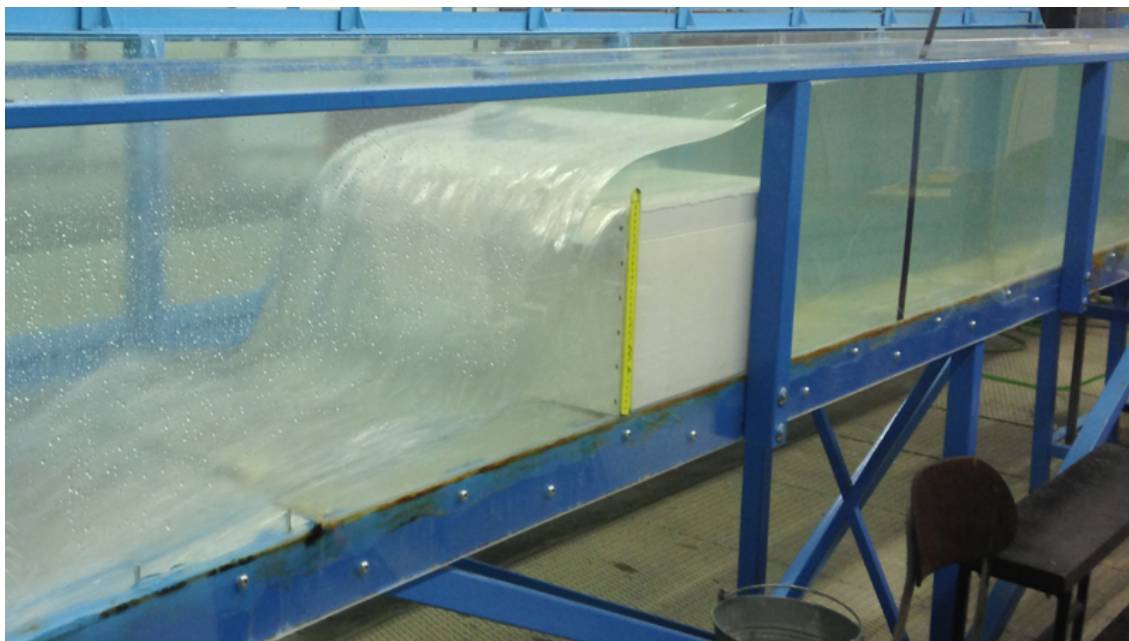
Měření proběhlo v Laboratoři vodohospodářského výzkumu Ústavu vodních staveb, Fakulty stavební na Vysokém učení technickém v Brně.

Přeliv pravoúhlého průřezu se širokou korunou byl umístěn ve žlabu o rozměrech délky 6 m, šířky 0,5 m a výšky 0,5 m s bočními stěnami a dnem z plexiskla. Model přelivu měl výšku $P = 0,3$ m a tloušťkou $t = 0,5$ m. Šířka přelivu b byla pro jednotlivé měřené stavy 0,5 m, 0,2 m, 0,1 m a 0,05 m.

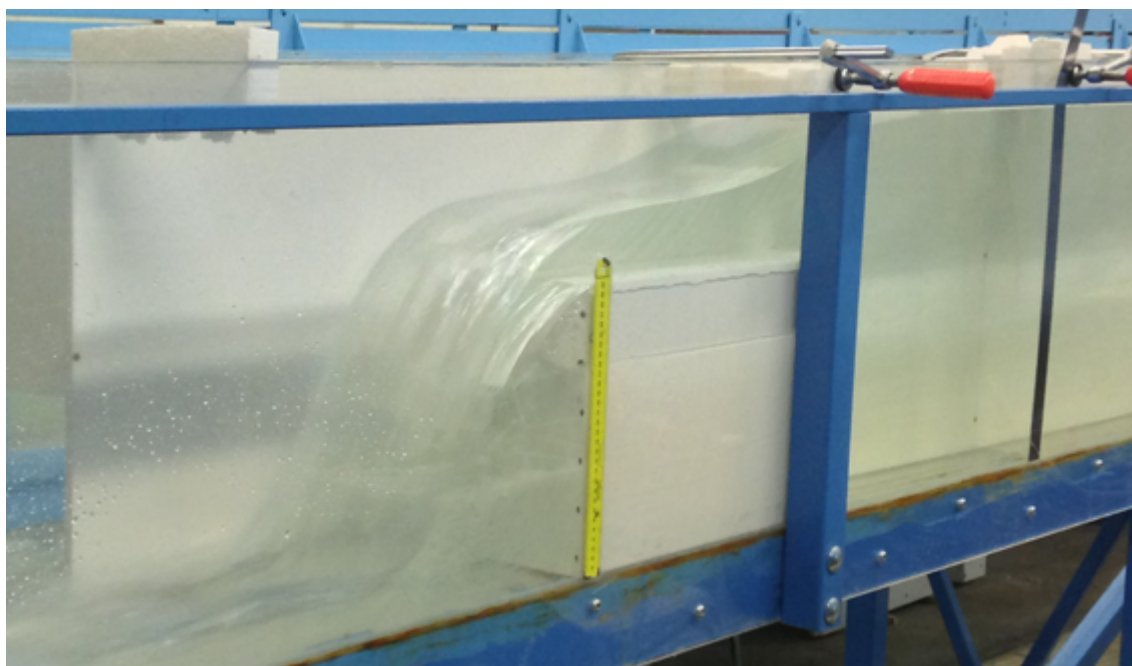
Průtok vody Q byl odečítán z kalibrovaného elektromagnetického průtokoměru (ELA MQI 99 - SN) umístěného na přívodním potrubí vody do žlabu. Průtok se nastavoval pomocí měniče frekvence otáček čerpadla v rozsahu od $0,002 \text{ m}^3/\text{s}$ do $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$. Z důvodu odstranění nežádoucího zvlnění hladiny před přelivem byla na vodní hladinu položena deska z pěnového polystyrenu. Zúžení koryta před přelivem bylo vytvořeno ve vzdálenosti rovnající se desetinásobku maximální přepadové výšky h a za přelivem o jednonásobek z důvodů ustálení proudící vody.



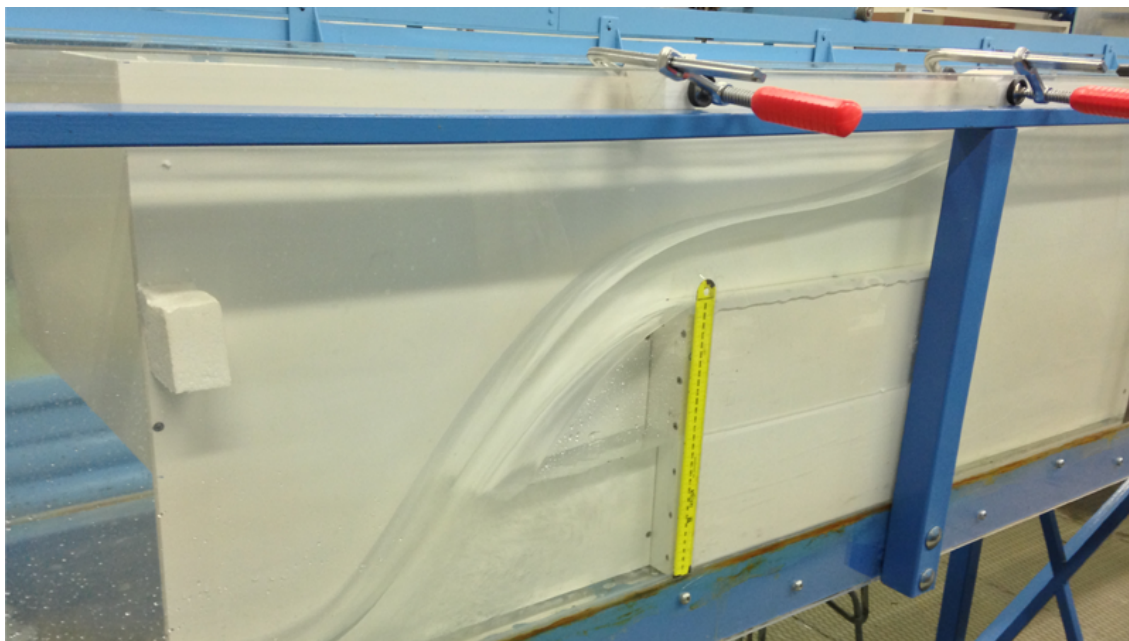
Obr. 6.1: Přeliv pravoúhlého průřezu se širokou korunou a ostrými hranami



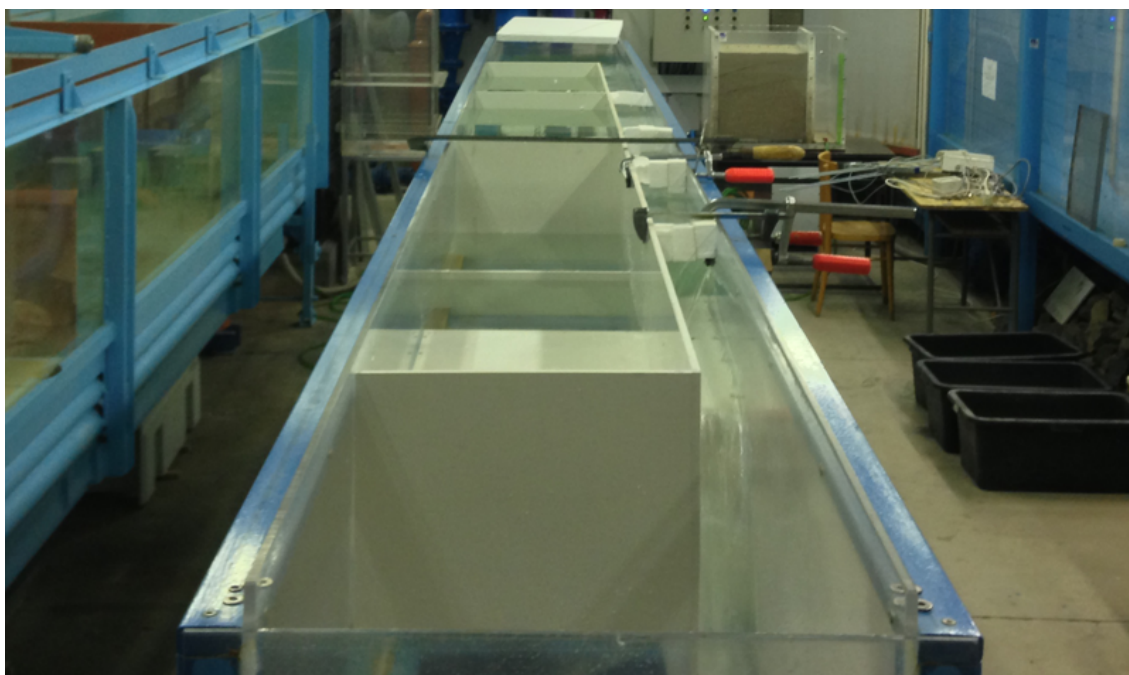
Obr. 6.2: Přeliv s šířkou 0,50 m



Obr. 6.3: Přeliv s šířkou 0,20 m



Obr. 6.4: Přeliv s šířkou 0,05 m



Obr. 6.5: Zúžení žlabu a přelivu na šířku 0,05 m

6.1 Měření

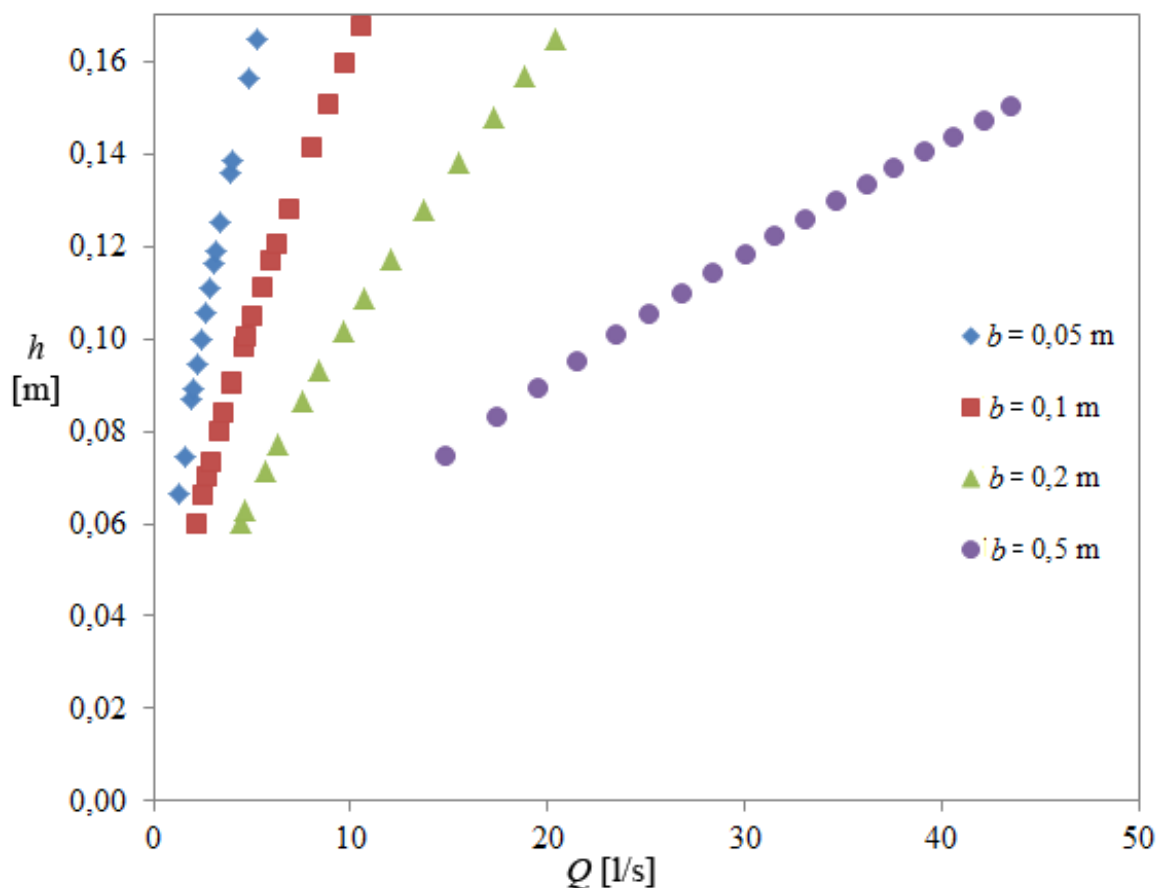
Úroveň hladiny vody ve žlabu byla při různých šířkách přelivu měřena pomocí ocelového měřidla, které bylo umístěno ve vzdálenosti $4h_{max}$ před přelivem. Nulová hodnota měřidla byla nastavena před prvním měřením v úrovni dna žlabu, při dalších měřeních docházelo k vizuální kontrole stálosti nastavení.

Každé měření začínalo přeměřením šířky přelivu pomocí ocelového měřidla a zaznamenáním těchto hodnot. Spolu s tímto údajem byla vždy měřena teplota vody, která se pohybovala v rozmezí od $20,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $22,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rozptyl hodnot průtoku byl pro každé měření jiný, tyto hodnoty jsou zobrazeny v tabulkách 6.1, 6.2, 6.3 a 6.4. Regulace průtoku probíhala pomocí změny otáček čerpadla dodávajícího vodu do žlabu. Snahou bylo dosáhnout stejný rozsah hodnot relativní šířky přelivu h/t , aby bylo možné mezi sebou porovnat hodnoty součinitele průtoku C_d pro různé šířky přelivu b .

Vlivem změny průtoku docházelo k ovlivnění stálosti hladiny, která kolísala. Z toho důvodu bylo nutné před odečtením hodnoty přepadové výšky h z ocelového měřidla vyčkat do ustálení hladiny. Odečtené hodnoty byly zaznamenávány do souboru. Kontrola každé sady měření probíhala po proměření požadovaného spektra hodnot tak, že bylo vybráno několik výsledných bodů, které byly změřeny znovu a porovnány mezi sebou, zda-li si odpovídají. Pro eliminaci chyby vzniklé špatným odečtem hodnoty z ocelového měřidla byly vybrané výsledky kontrolovány druhou osobou. Tímto krokem bylo zamezeno vzniku chyby při odečtu.

6.2 Zpracování měření

Naměřené hodnoty přepadové výšky h a průtoku Q byly zaznamenány do tabulek a z nich vytvořeny měrné křivky jednotlivých přelivů obr.6.6.



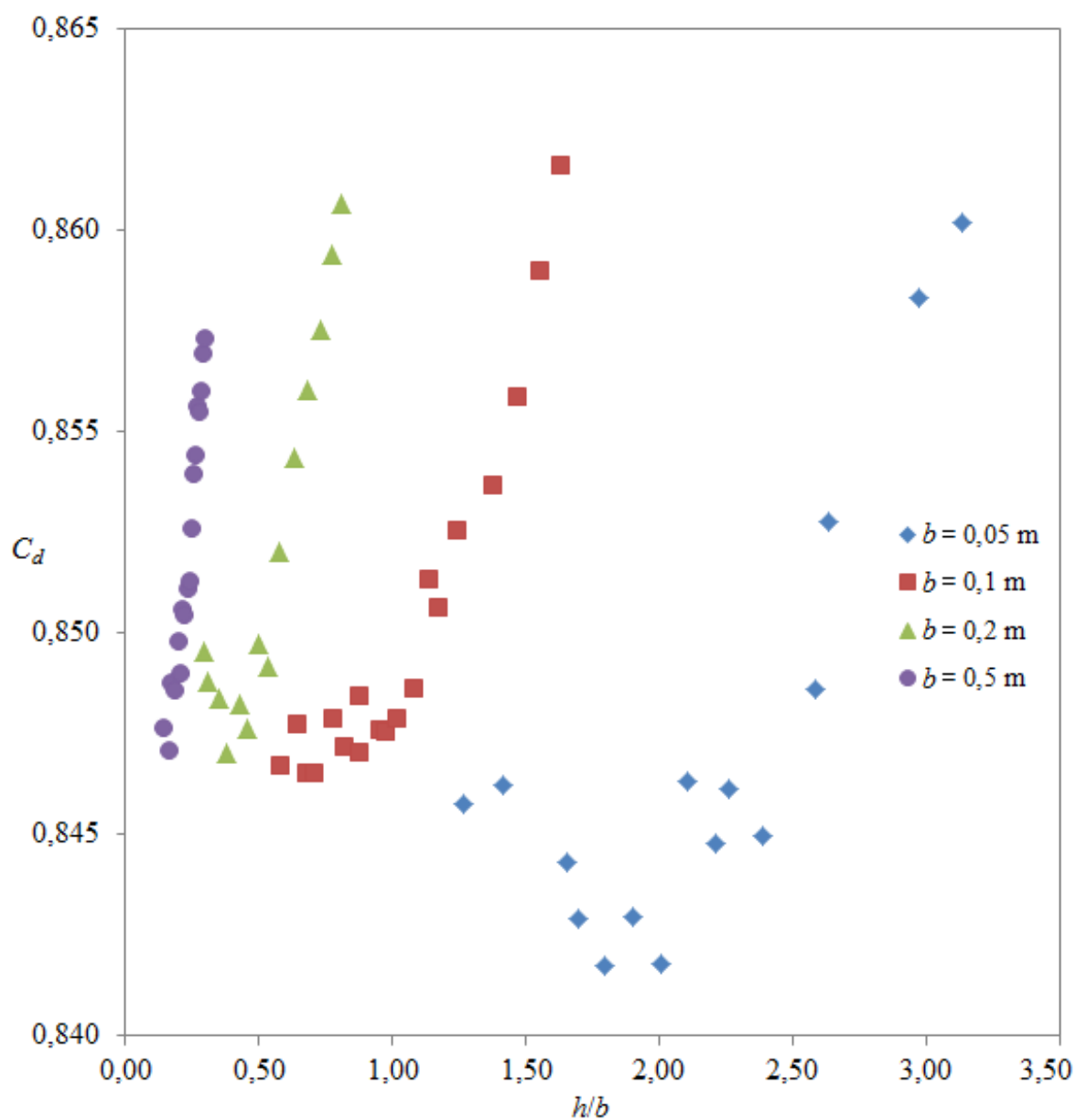
Obr. 6.6: Měrné křivky jednotlivých přelivů

Pomocí hodnoty přepadové výšky zaznamenané pro různé průtokové stavy, byly vypočítány hodnoty relativní tloušťky přelivu h/t , relativní výšky přelivu h/P a relativní šířky přelivu h/b obr.6.7. Podle uvedené rovnice (4.14) byla vyjádřena hodnota součinitele průtoku C_d

$$C_d = \frac{Q}{\left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} g^{1/2} b H^{3/2}}. \quad (6.1)$$

Hodnota energetické přepadové výšky H byla stanovena z výpočtu naměřených hodnot, které byly dosazené do rovnice

$$H = h + \frac{Q_i^2}{2gA^2} = h + \frac{Q_i^2}{2g(b(P+h))^2}. \quad (6.2)$$



Obr. 6.7: Součinitel průtoku C_d v závislosti na relativní šířce přelivu h/b

Na Obr.6.7 je vyjádřena závislost relativní šířky přelivu na součiniteli průtoku C_d . U malých hodnot šířky přelivu $b < 0,2$ m se zmenšuje hodnota součinitele průtoku spolu se zvětšením relativní šířky[3].

Pro jednotlivá měření byly vytvořeny příslušné tabulky 6.1, 6.2, 6.3 a 6.4. Do nich byly zaznamenávány naměřené hodnoty Q a h . Hodnoty h/P , h/t , h/b byly vypočítány dle jejich poměru a součinitel průtoku C_d byl vypočítán na základě rovnice 6.1. Hodnoty v tabulkách jsou seřazeny vzestupně od nejmenšího průtoku Q po největší.

m	Q	h	h/P	h/t	h/b	C_d
	[l/s]	[m]	-	-	-	-
1	1,305	0,067	0,222	0,133	1,267	0,8457
2	1,550	0,075	0,248	0,149	1,419	0,8462
3	1,955	0,087	0,290	0,174	1,657	0,8443
4	2,020	0,089	0,297	0,178	1,695	0,8429
5	2,200	0,094	0,314	0,189	1,795	0,8417
6	2,410	0,100	0,333	0,200	1,905	0,8429
7	2,610	0,106	0,352	0,211	2,010	0,8418
8	2,825	0,111	0,369	0,222	2,110	0,8463
9	3,035	0,116	0,388	0,233	2,214	0,8447
10	3,140	0,119	0,396	0,238	2,262	0,8461
11	3,400	0,125	0,418	0,251	2,386	0,8450
12	3,860	0,136	0,453	0,272	2,586	0,8486
13	4,000	0,139	0,462	0,277	2,638	0,8528
14	4,840	0,156	0,521	0,313	2,976	0,8583
15	5,260	0,165	0,549	0,330	3,138	0,8602

Tab. 6.1: Výsledky měření, $b = 0,0525$ m

m	Q	h	h/P	h/t	h/b	C_d
	[l/s]	[m]	-	-	-	-
1	2,180	0,060	0,200	0,120	0,587	0,8467
2	2,520	0,066	0,220	0,132	0,645	0,8477
3	2,750	0,070	0,233	0,140	0,684	0,8465
4	2,930	0,073	0,243	0,146	0,714	0,8465
5	3,370	0,080	0,267	0,160	0,782	0,8478
6	3,625	0,084	0,280	0,168	0,821	0,8471
7	4,030	0,090	0,300	0,180	0,880	0,8484
8	4,040	0,090	0,301	0,181	0,882	0,8470
9	4,580	0,098	0,327	0,196	0,958	0,8476
10	4,740	0,100	0,334	0,201	0,980	0,8475
11	5,050	0,105	0,348	0,209	1,022	0,8479
12	5,520	0,111	0,369	0,222	1,083	0,8486
13	6,000	0,117	0,389	0,234	1,141	0,8513
14	6,270	0,120	0,401	0,241	1,175	0,8506
15	6,890	0,128	0,426	0,256	1,249	0,8525
16	8,040	0,141	0,471	0,283	1,381	0,8537
17	8,880	0,151	0,502	0,301	1,471	0,8558
18	9,740	0,160	0,532	0,319	1,559	0,8590
19	10,530	0,168	0,558	0,335	1,637	0,8616

Tab. 6.2: Výsledky měření, $b = 0,1023\text{ m}$

m	Q	h	h/P	h/t	h/b	C_d
	[l/s]	[m]	-	-	-	-
1	4,370	0,060	0,201	0,121	0,297	0,8495
2	4,670	0,063	0,210	0,126	0,310	0,8488
3	5,650	0,072	0,238	0,143	0,352	0,8484
4	6,340	0,077	0,258	0,155	0,380	0,8470
5	7,500	0,086	0,288	0,173	0,425	0,8482
6	8,400	0,093	0,310	0,186	0,458	0,8476
7	9,650	0,102	0,339	0,204	0,501	0,8497
8	10,630	0,109	0,362	0,217	0,534	0,8491
9	12,000	0,117	0,391	0,235	0,577	0,8520
10	13,750	0,128	0,427	0,256	0,630	0,8543
11	15,450	0,138	0,460	0,276	0,679	0,8560
12	20,360	0,165	0,549	0,330	0,811	0,8606
13	18,840	0,157	0,523	0,314	0,772	0,8594
14	17,220	0,148	0,493	0,296	0,729	0,8575

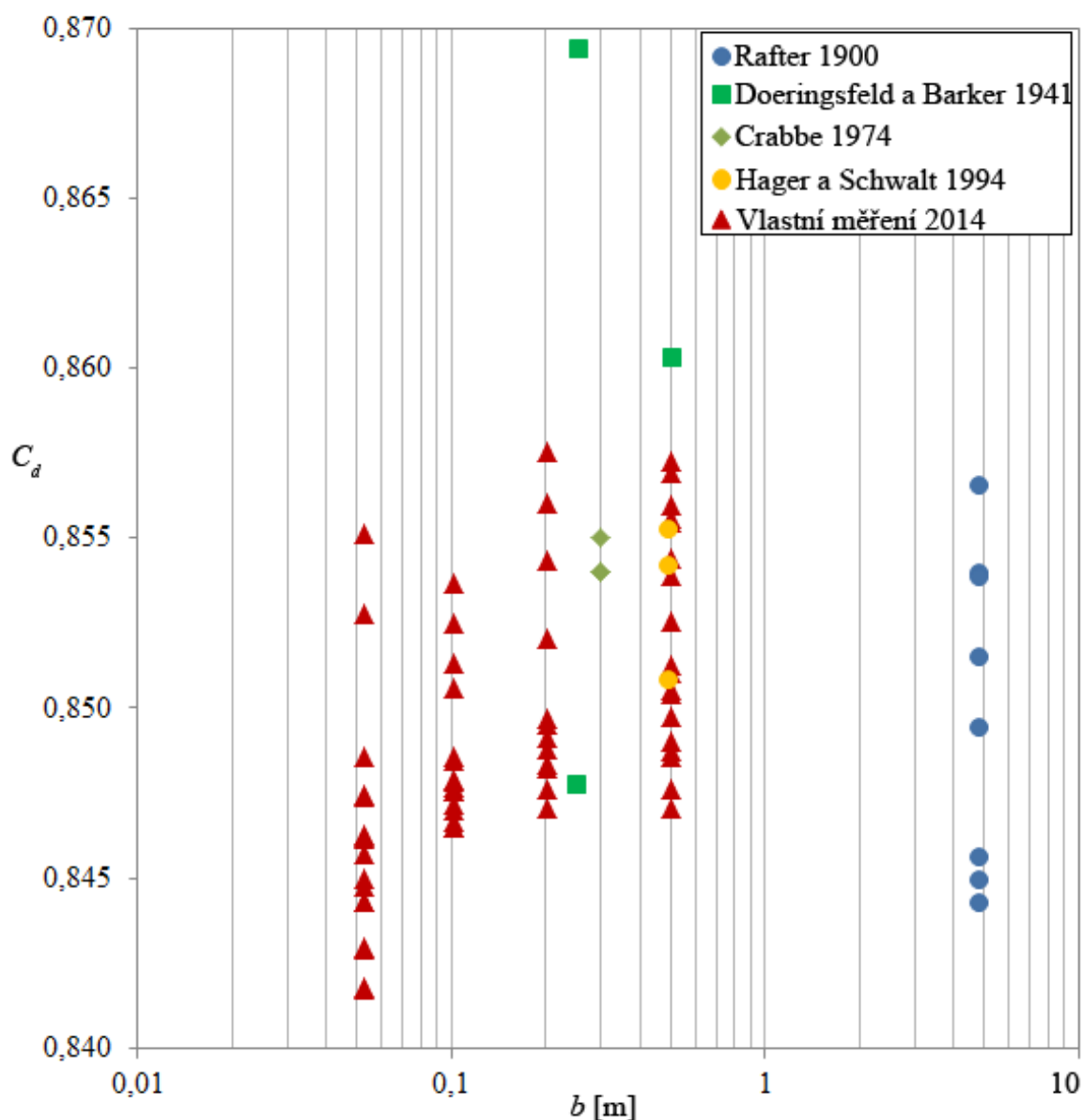
Tab. 6.3: Výsledky měření, $b = 0,2030$ m

m	Q	h	h/P	h/t	h/b	C_d
	[l/s]	[m]	-	-	-	-
1	14,890	0,075	0,248	0,149	0,148	0,8476
2	17,440	0,083	0,276	0,166	0,164	0,8471
3	19,510	0,089	0,297	0,178	0,177	0,8488
4	21,530	0,095	0,317	0,190	0,189	0,8486
5	23,480	0,101	0,335	0,201	0,200	0,8497
6	25,160	0,105	0,351	0,211	0,209	0,8490
7	26,860	0,110	0,366	0,220	0,218	0,8505
8	28,450	0,114	0,380	0,228	0,226	0,8504
9	30,100	0,118	0,394	0,237	0,235	0,8511
10	31,570	0,122	0,407	0,244	0,242	0,8512
11	33,110	0,126	0,419	0,252	0,250	0,8526
12	34,680	0,130	0,432	0,259	0,257	0,8539
13	36,240	0,133	0,444	0,267	0,265	0,8544
14	37,650	0,137	0,455	0,273	0,271	0,8556
15	39,230	0,140	0,468	0,281	0,279	0,8554
16	40,650	0,144	0,478	0,287	0,285	0,8560
17	42,220	0,147	0,490	0,294	0,292	0,8569
18	43,560	0,150	0,500	0,300	0,298	0,8573

Tab. 6.4: Výsledky měření, $b = 0,5035$ m

6.3 Vyhodnocení

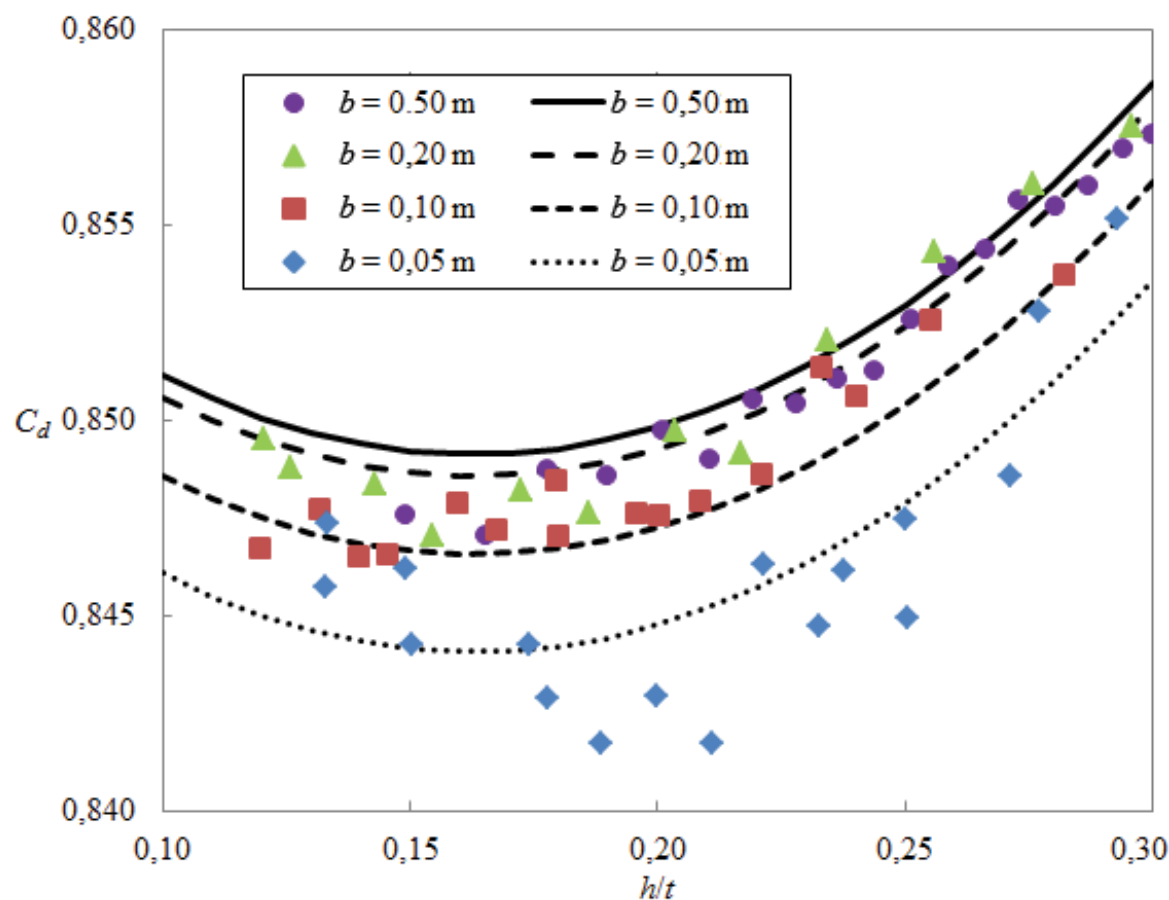
Vlastní měření bylo porovnáno s měřením ostatních autorů obr.6.8, ze kterého vyplývá, že se součinitel průtoku v rozmezí hodnot $0,2 \text{ m} \leq b \leq 0,5 \text{ m}$ nachází v oblasti hodnot uvedených v odborné literatuře [3]. Hodnoty součinitele průtoku u šířek přelivu $b < 0,2 \text{ m}$ jsou menší než u větších šířek přelivu.



Obr. 6.8: Porovnání hodnot součinitele průtoku na šířce přelivu s ostatními autory

Z grafu je možné určit minimální šířku přelivu $b_{min} = 0,2 \text{ m}$, pro kterou je možné použít průměrnou hodnoty součinitele přelivu $C_d = 0,850$, která byla ověřena vlastním měřením.

V případě šířky přelivu $b < 0,2\text{ m}$ je třeba brát v úvahu odchylku od průměrné hodnoty součinitele průtoku, která u malých šířek přelivu vzniká.



Obr. 6.9: Závislost součinitele průtoku na poměru h/t

Závislost součinitele průtoku C_d na poměru h/t je vyobrazena na Obr.6.9. Vypočítané hodnoty pro každou šířku přelivu byly proloženy jejich aproximačními křivkami.

Rovnice součinitele vlivu šířky přelivu má tvar

$$C_b = \frac{C_d}{C_{d0}}, \quad (6.3)$$

kde C_{d0} odpovídá na Obr.6.9 aproximační křivce šířky $b = 0,50\text{ m}$. Součinitel C_b slouží k výpočtu aproximačních křivek pro jednotlivé šířky přelivu.

Aproximační rovnice vznikly dosazením poměru h/t spolu s konstantami K , L a M uvedenými v Tab.6.5 do rovnice 6.4. Hodnoty parametrů aproximačních křivek se stanovují iteračně s využitím metody nejmenších čtverců.

$$C_d = K \left(\frac{h}{t} \right)^2 + L \frac{h}{t} + M, \quad (6.4)$$

Na Obr.6.6 je možné vidět, jak velké rozdíly v součiniteli průtoku jsou pro jednotlivé šířky přelivu. Hodnoty $b < 0,20$ m jsou od průměrného C_d více vzdáleny.

b	K	L	M
[m]	-	-	-
0,0525	0,5053	-0,1647	0,8575
0,1023	0,5053	-0,1647	0,8600
0,2030	0,5053	-0,1647	0,8620
0,5250	0,5053	-0,1647	0,8626

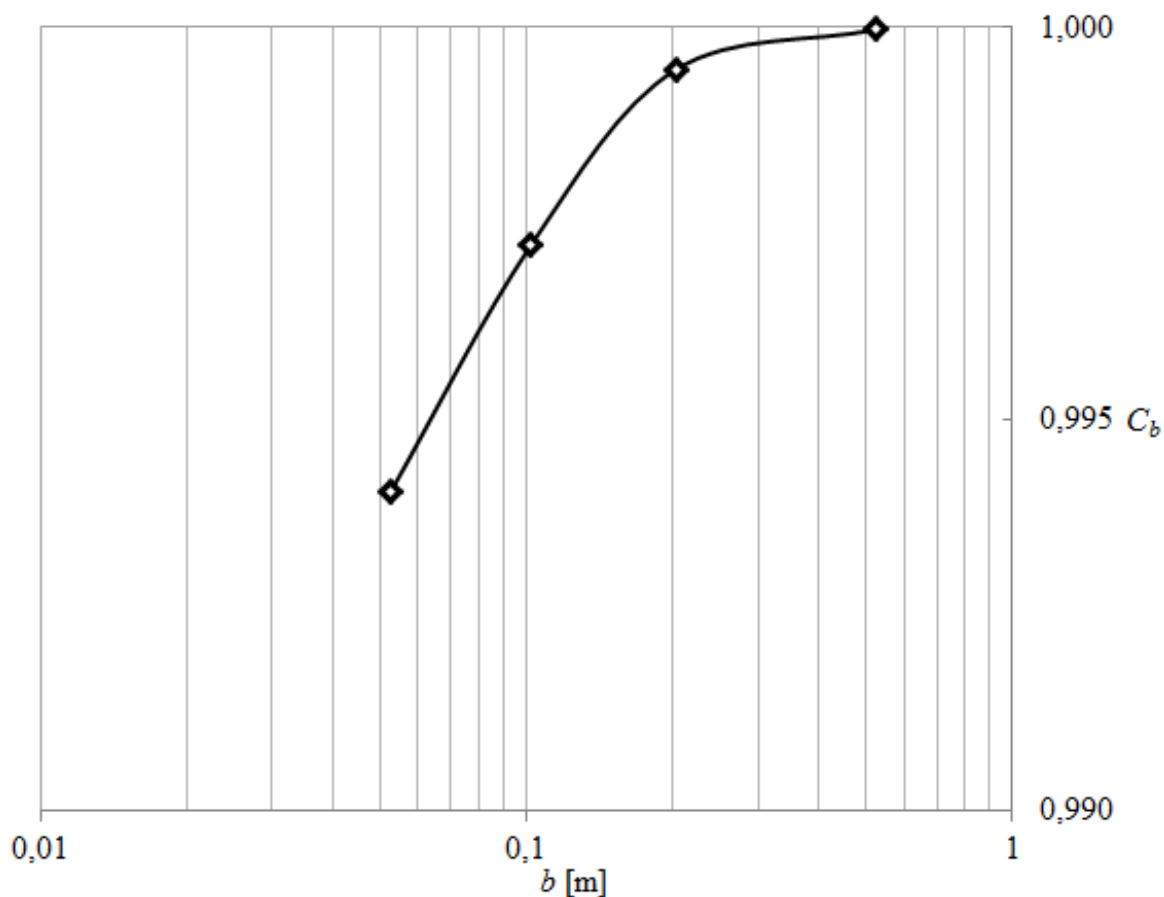
Tab. 6.5: Součinitel vlivu šířky přelivu

Obr.6.10 vyjadřuje funkční závislost součinitele vlivu šířky přelivu na jeho šířce. Hodnoty C_b byly vypočítány rovnicí 6.3 pro jednotlivé hodnoty b . Výsledné hodnoty součinitele vlivu šířky přelivu C_b uvedené v Tab.6.3 vznikly aritmetickým průměrem hodnot C_b dané šířky přelivu. Pro šířku $b = 0,5$ m se uvažuje $C_b = 1$.

b	C_b
[m]	-
0,0525	0,9941
0,1023	0,9972
0,2030	0,9995
0,50	1,0000

Tab. 6.6: Aproximační koeficienty pro jednotlivé šířky

Na Obr.6.10 je vidět, jakým způsobem se součinitel vlivu šířky přelivu C_b , který v rozmezí hodnot $0,2 \text{ m} \leq b \leq 1,0 \text{ m}$ mírně klesá a tento rozdíl je zanedbatelný při výpočtu. Od šířky $0,2 \text{ m} < b$ je pokles výrazný a proto se musí se součinitelem vlivu šířky přelivu uvažovat.



Obr. 6.10: Závislost součinitele C_b na b

Z důvodů správné použitelnosti hodnoty součinitele C_d je nutné uvést meze použitelnosti C_b pro jednotlivé poměry spolu s naměřenými hodnotami, aby bylo možné mezi sebou porovnávat rozdílné přelivy rozdílných vlastností.

Mez použitelnosti C_b pro poměr h/t je stanovena v rozmezí $0,10 \leq h/t \leq 3,00$, pro poměr h/b je mez použitelnosti $0,00 \leq h/b \leq 3,50$ a pro teplotu se hodnoty meze použitelnosti pohybují v rozsahu $20^\circ\text{C} \leq T \leq 23^\circ\text{C}$.

Mimo stanovené rozmezí může nabývat C_b jiných hodnot.

7 ZÁVĚR

Hlavním cílem bakalářské práce bylo stanovení vlivu šířky přelivu na součinitele průtoku C_d . Měření bylo zaměřeno na hodnoty šířky přelivu menší než 0,5 m.

Za tímto účelem bylo provedeno celkově 66 měření, každému z nich odpovídá průtokový stav. Ten se při měření pohyboval v rozsahu od 1,31/s do 43,61/s. Měření bylo provedeno pro 4 různé šířky přelivu 0,05 m, 0,1 m, 0,2 m a 0,5 m. Přeliv měl pro všechna měření jednotnou výšku 0,3 m a délku 0,5 m.

Hodnota průtoku byla stanovena odečtem z kalibrovaného elektromagnetického průtokoměru ELA. Hodnota přepadové výšky h byla vypočítána z rozdílu úrovně hladiny před přelivem ve vzdálenosti $4h$ protiproudě od paty přelivu a úrovně koruny přelivu. Přepadová výška se pohybovala v rozmezí od 0,067 m do 0,168 m.

Součinitel průtoku C_d dosahoval průměrné hodnoty $C_d = 0,850$. Ta byla vypočítána na základě vyjádření rovnice 6.1. Mez použitelnosti byla oproti normě, která udává konstantní hodnotu součinitele průtoku při relativní výšce $h/P \leq 0,15$ i délce $0,10 \leq h/t \leq 0,30$ přelivu větší, dosahovala hodnot $h/P \leq 0,56$ a u hodnot relativní délky $h/t \leq 0,34$.

Z výsledků experimentů vyplývá, že hodnoty součinitele průtoku pro šířky přelivu $b > 0,2$ m nevykazují významné rozdíly součinitele průtoku oproti přelivům s velkou šířkou. Změřené hodnoty se prakticky shodují s hodnotami uvedeným v normě ČSN ISO 3846 [3]. Pro přelivy s $b < 0,2$ m je třeba uvažovat s vlivem tření o boční stěny a zavést součinitel C_b . Jeho hodnoty zobrazuje graf.6.10 nebo Tab.6.3.

Hodnoty z provedeného experimentu mohou do značné míry ověřit analytická vyjádření pro malé šířky přelivu a mohou sloužit jako poklady pro numerické modelování.

Experiment má do budoucna možnosti rozšíření, kdy by bylo možné, pro malé šířky přelivu $b < 0,2$ m najít opravné součinitele, které by bylo možné použít, při měření jako univerzální opravné hodnoty.

LITERATURA

- [1] BOS, M. G. *Discharge measurement structures* Third revised edition. Netherlands: ILRI, 1989.
- [2] CRABBE, A. D. *Water Services - Some Hydraulic Features of the Square - Edged Broad Crested Weir* , str. 354-358, 1974.
- [3] ČSN ISO 3846. *Měření průtoku v otevřených korytech pomocí měrných přelivů a žlabů. Měrné přelivy pravoúhlého průřezu se širokou korunou*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [4] DOERINGSFELD, H. A. a BARKER, C. L. *Pressure-momentum theory applied to the broad-crested weir* Transactions of the American Society of Civil Engineers, 934-936, 1941.
- [5] HAGER, W.H., SCHWALT, M. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* - Broad-crested weir, Vol. 120., No 1. ASCE, 1994.
- [6] HORTON, R. E. *Weir experiments, coefficients, and formulas*. Revision of paper no.150. Washington, USA: Department of the Interior United States Geological Survey, 1907.
- [7] JANDORA, J. *Hydraulika: modul 01*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 178 s. ISBN 978-80-7204-512-9.
- [8] KNÉBLOVÁ, M. *Analýza vlivu relativní výšky pravoúhlého přelivu s širokou korunou na součinitel průtoku*. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Brno, 2013.
- [9] TIM, U. S. *Characteristics of Some Hydraulic Structures Used for Flow Control and Measurement in Open Channels* Canada, 1986.
- [10] ZACHOVAL, Z., ŠULC, J. *Symposium hydrotechnikou Zborník Príspevkov - Rovnice stanovující průtok přes pravoúhlý obdelníkový přeliv se širokou korunou*, Bratislava, Slovenská technická univerzita v Bratislave, P207-213, 2011.

8 SEZNAM VELIČIN

A	průtočný průřez	$[m^2]$
b	šířka přelivu	$[m]$
b_0	minimální šířka přelivu	$[m]$
C_b	součinitel vlivu šířky přelivu	$[-]$
C_d	součinitel průtoku	$[-]$
C_{d0}	základní součinitel průtoku	$[-]$
C_v	součinitel přítokové rychlosti	$[-]$
Fr	Froudovo kritérium	$[-]$
g	tíhové zrychlení	$[m/s^2]$
L	délka žlabu	$[m]$
h	přepadová výška	$[m]$
H	energetická přepadová výška	$[m]$
h_k	kritická přepadová výška	$[m]$
h_{max}	maximální přepadová výška	$[m]$

h_{min}	minimální přepadová výška	[m]
H_{min}	minimální energetická přepadová výška	[m]
h_1	výška průřezu před přelivem	[m]
h_2	výška průřezu za přelivem	[m]
P	výška přelivu	[m]
Q	průtok	[m ³ /s]
Re	Reynoldsovo kritérium (číslo)	[-]
t	tloušťka (délka) přelivu	[m]
T	teplota vody	[-]
u	bodová rychlost	[m/s]
v	průřezová rychlost	[m/s]
y_C	souřadnice bodu C na ose y	[m]
α	součinitel kinetické energie	[-]
ρ	hustota kapaliny	[kg/m ³]

SEZNAM OBRÁZKŮ

3.1	Charakter proudění na koruně pravoúhlých přelivů	11
3.2	Vyobrazení žlabu přímého v 10 násobku šířky v hladině a měřící za- řízení umístěné ve vzdálenosti $4h$	13
3.3	Kontrola nastavení nuly na měřicím zařízení vztažená ke koruně přelivu	14
3.4	Přeliv pravoúhlého průřezu se širokou korunou	15
4.1	Schéma přepadu přes pravoúhlý přeliv se širokou korunou [10]	17
4.2	A, dokonalý přepad přes širokou korunu, B, nedokonalý přepad přes šírokou korunu	17
4.3	Energetická výška průřezu [7]	19
6.1	Přeliv pravoúhlého průřezu se širokou korunou a ostrými hranami . .	26
6.2	Přeliv s šířkou 0,50 m	27
6.3	Přeliv s šířkou 0,20 m	27
6.4	Přeliv s šířkou 0,05 m	28
6.5	Zúžení žlabu a přelivu na šířku 0,05 m	28
6.6	Měrné křivky jednotlivých přelivů	30
6.7	Součinitel průtoku C_d v závislosti na relativní šířce přelivu h/b	31
6.8	Porovnání hodnot součinitele průtoku na šířce přelivu s ostatními autory	36
6.9	Závislost součinitele průtoku na poměru h/t	37
6.10	Závislost součinitele C_b na b	39

SEZNAM TABULEK

3.1	Rozdělení pravoúhlých přelivů podle poměru h/t	12
5.1	Vybraná data z měření United States Geological Survey [6]	23
5.2	Vybraná data z měření Doeringsfeld a Barker [4]	24
5.3	Vybraná data z měření Crabbe [2]	24
5.4	Vybraná data z měření Hager a Schwalt [5]	25
6.1	Výsledky měření, $b = 0,0525$ m	32
6.2	Výsledky měření, $b = 0,1023$ m	33
6.3	Výsledky měření, $b = 0,2030$ m	34
6.4	Výsledky měření, $b = 0,5035$ m	35
6.5	Součinitel vlivu šířky přelivu	38
6.6	Aproximační koeficienty pro jednotlivé šířky	38